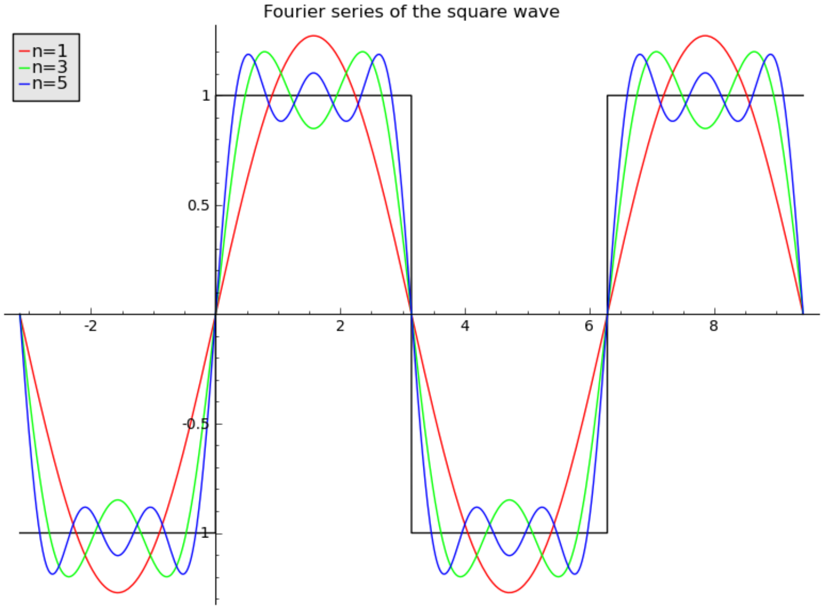
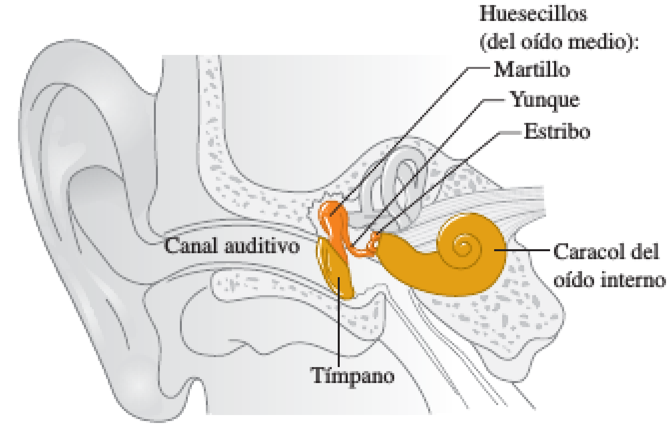
Aula 19
Som e série de Fourier

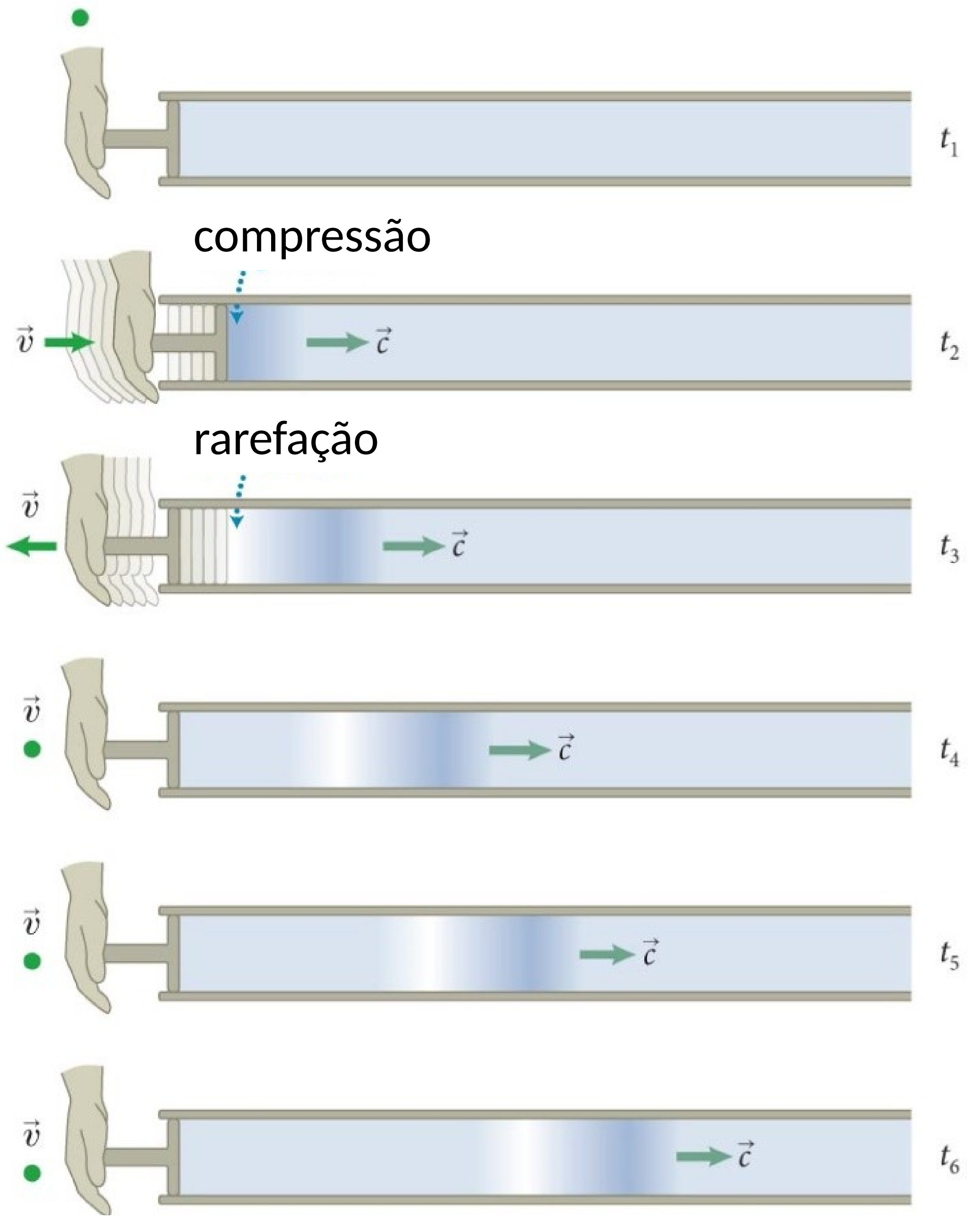


O que é o som?

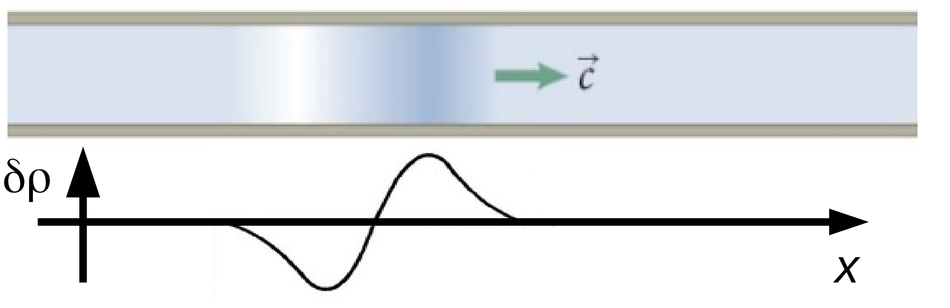


- O ouvido humano pode detectar ondas longitudinais com frequências mais ou menos entre 20 Hz e 20 kHz.
- Essas ondas (que podem se propagar em qualquer material, sólido, líquido ou gasoso) são chamadas ondas sonoras.
- A velocidade do som depende do meio (no sólido já vimos como ela está relacionada com o módulo de Young); em um gás ela depende, entre outras coisas, da temperatura.

Movimentos de um pistão para frente e para trás criam um pulso de pressão no ar (onda longitudinal)



Representação do pulso: deslocamento da densidade em relação ao valor de equilíbrio



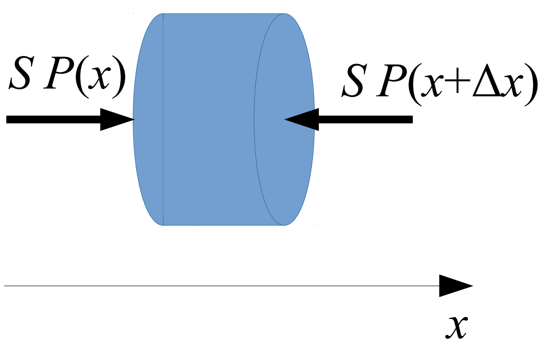
Velocidade do som:

- ~ 340 m/s (ar)
- ~ 1500 m/s (água)
- ~ 5000 m/s (aço)

Ondas sonoras em um gás: pressão p versus deslocamento y

Em um instante t dado, sendo P_0 a pressão no equilíbrio:

$$P(x) = p(x) + P_0$$



Pressão crescente significa densidade crescente; pressão descrescente, densidade decrescente.

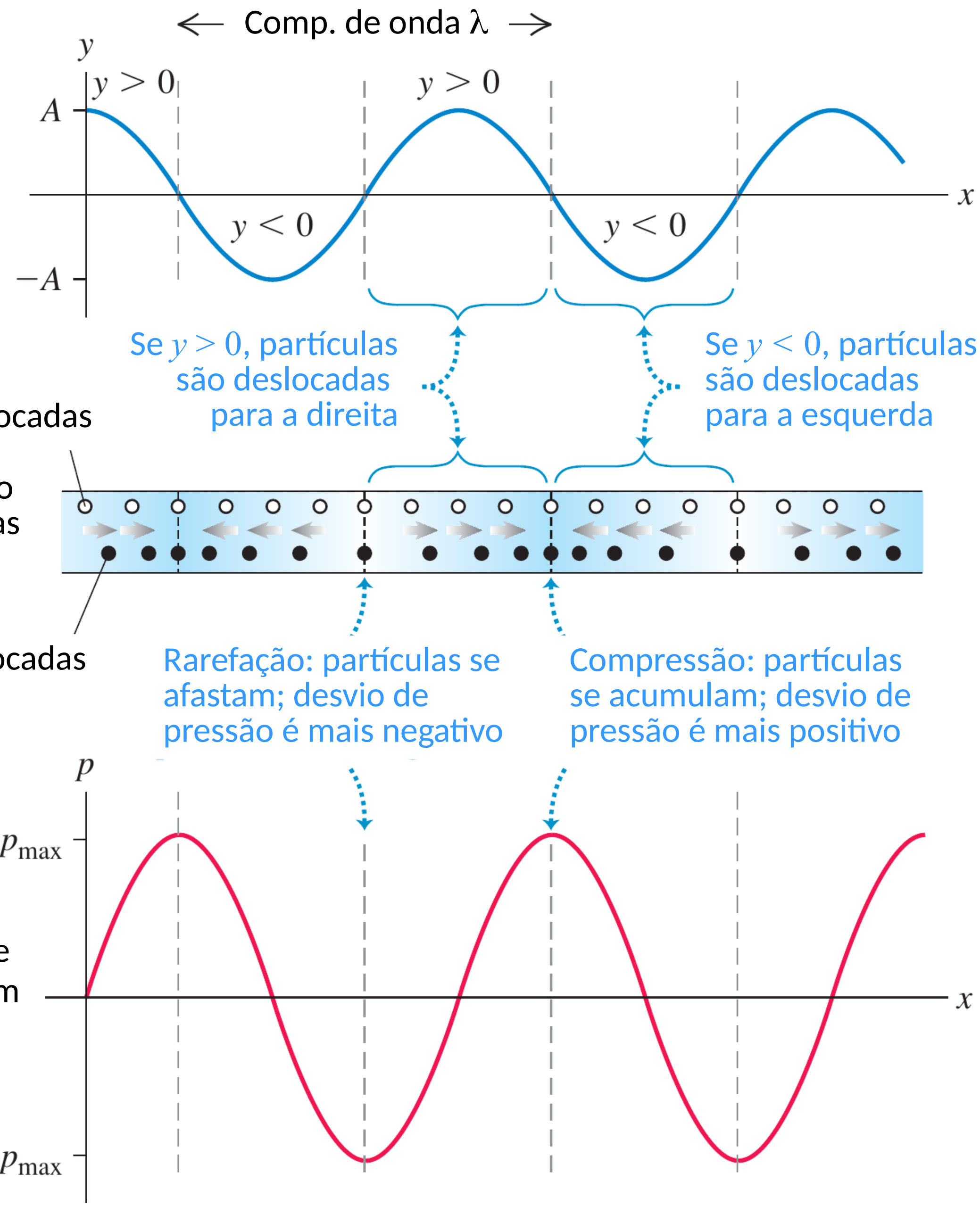
Um gráfico do deslocamento y contra a posição x em $t = 0$

Partículas não deslocadas

Um esquema mostrando o deslocamento de partículas no fluido em $t = 0$

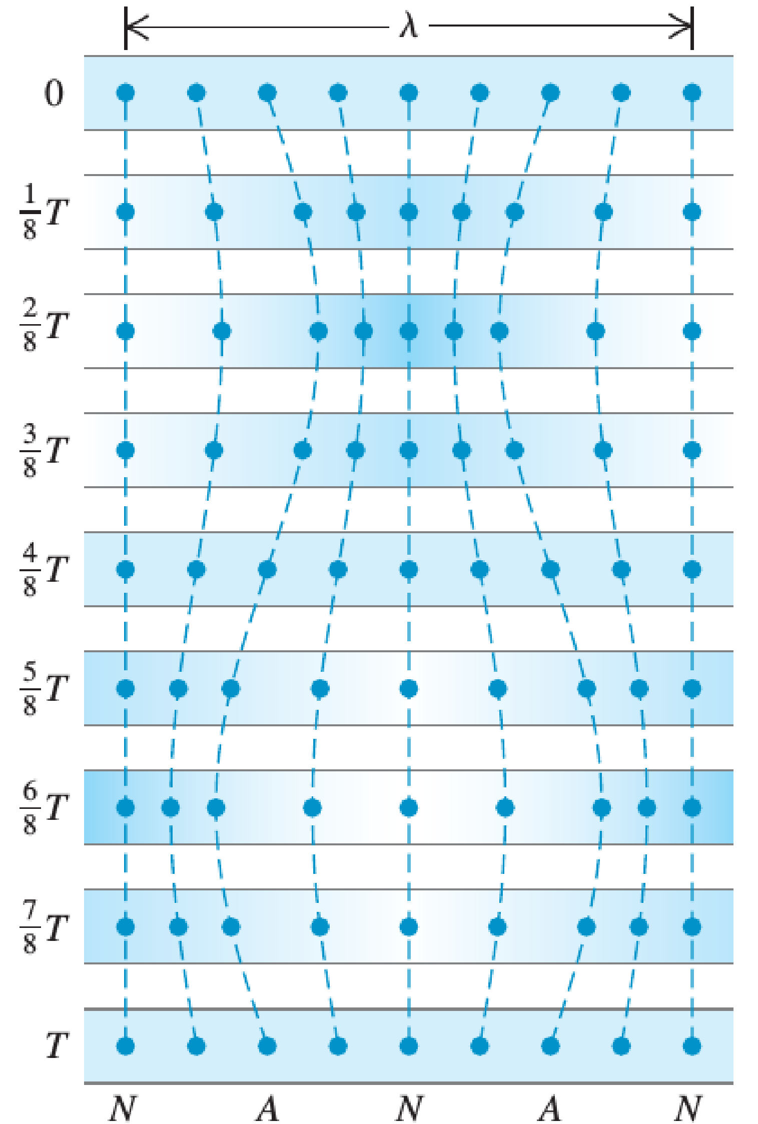
Partículas deslocadas

Um gráfico dos <u>desvios</u> de pressão em função de x em $t = 0$



Ondas sonoras em um gás: pressão p versus deslocamento y

- Um nó de deslocamento é um antinó de pressão: lá ocorrem as maiores variações de densidade.
- Um antinó de deslocamento é um nó de pressão: lá ocorrem as menores variações de densidade.

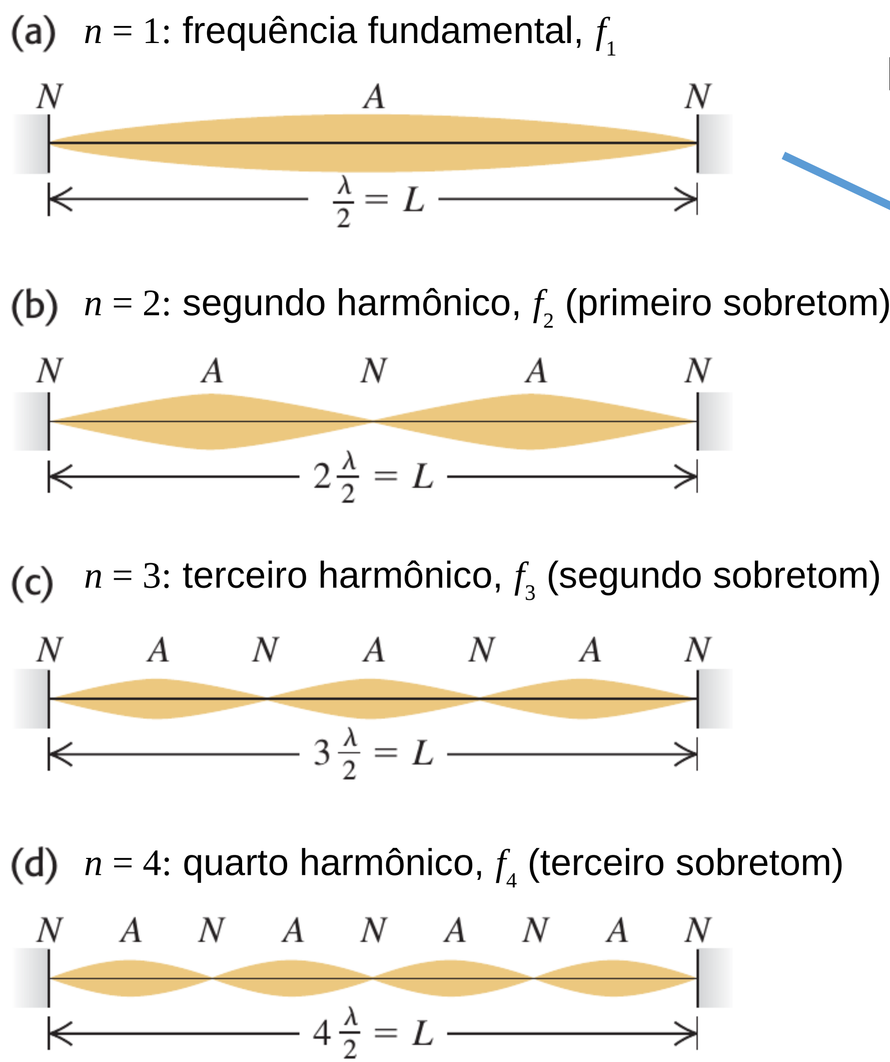


N = um nó de deslocamento = um antinó de pressão
A = um nó de pressão = um antinó de deslocamento

Qual a diferença entre música e ruído?

Nota musical = senoide (f_1) + senoide (f_2) + senoide (f_3) + ...

Exemplo:
som produzido por uma corda fixa nos extremos



Frequências: $f_n = n\, f_1$

Define a nota
= primeiro harmônico

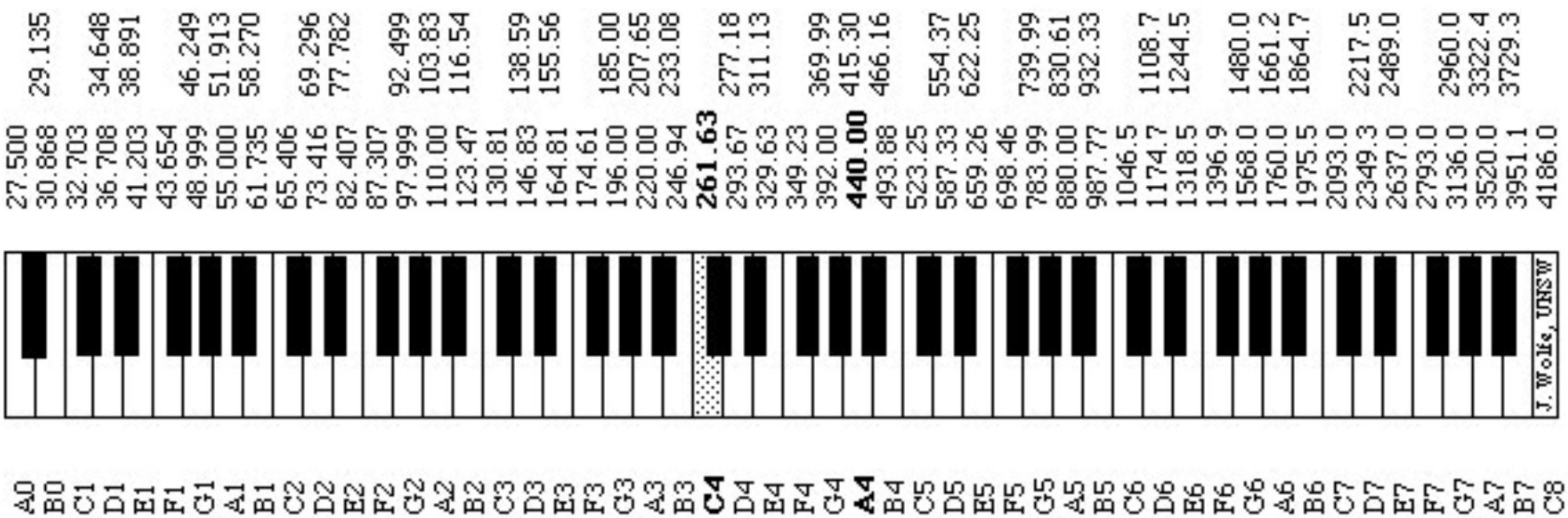
Frequências:

$$f_n = \frac{v}{\lambda_n}$$

Música ocidental: 12 notas

Temos uma oitava sempre que o quociente entre as frequências for igual a 2.

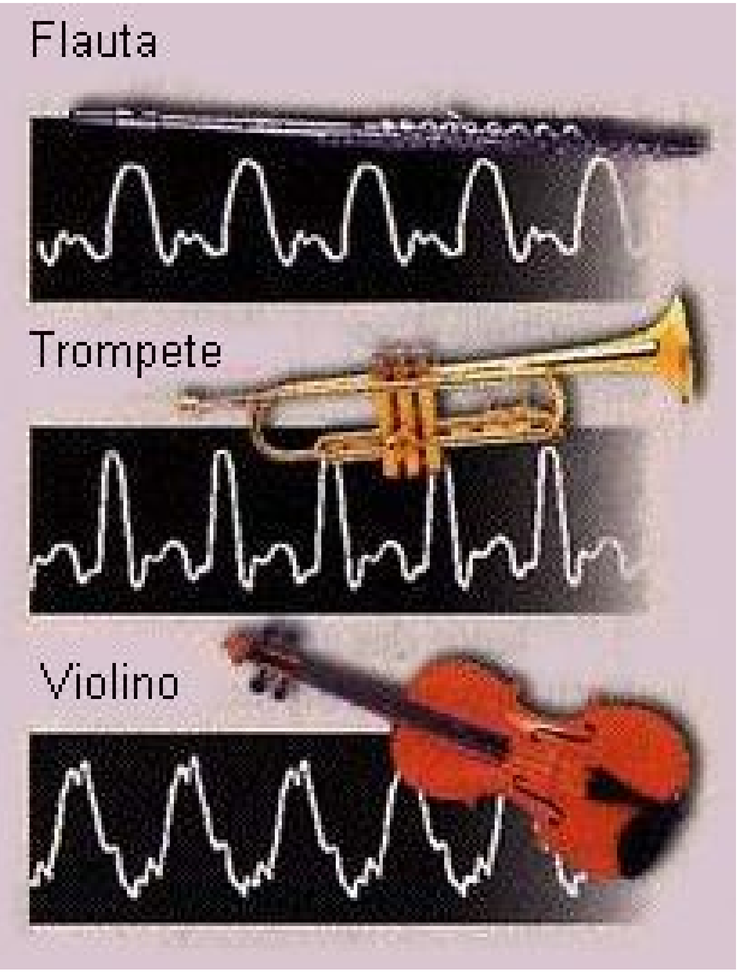
Escala temperada



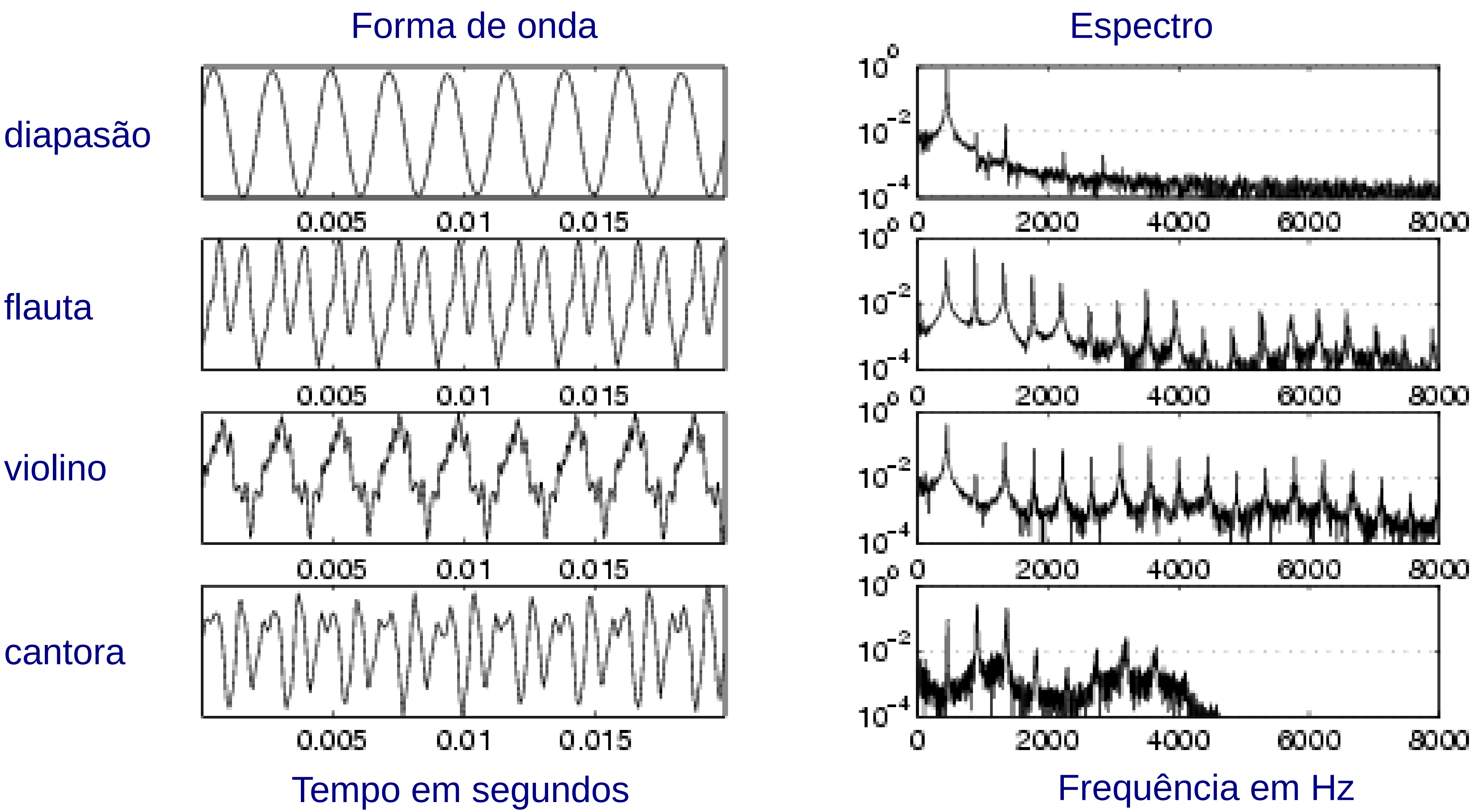
Cada semitom corresponde a um aumento de frequência de $2^{\frac{1}{12}} \approx 1{,}0595$

Timbre

- O som pode ser representado pela soma de diversas ondas individuais (componentes de Fourier).
- O resultado acústico da combinação de amplitudes de cada um dos harmônicos presentes no som resultante produz a forma sonora peculiar de cada instrumento, conhecida como timbre.
- O timbre depende da forma de excitação do ar e do tipo de material de que é feito o instrumento.

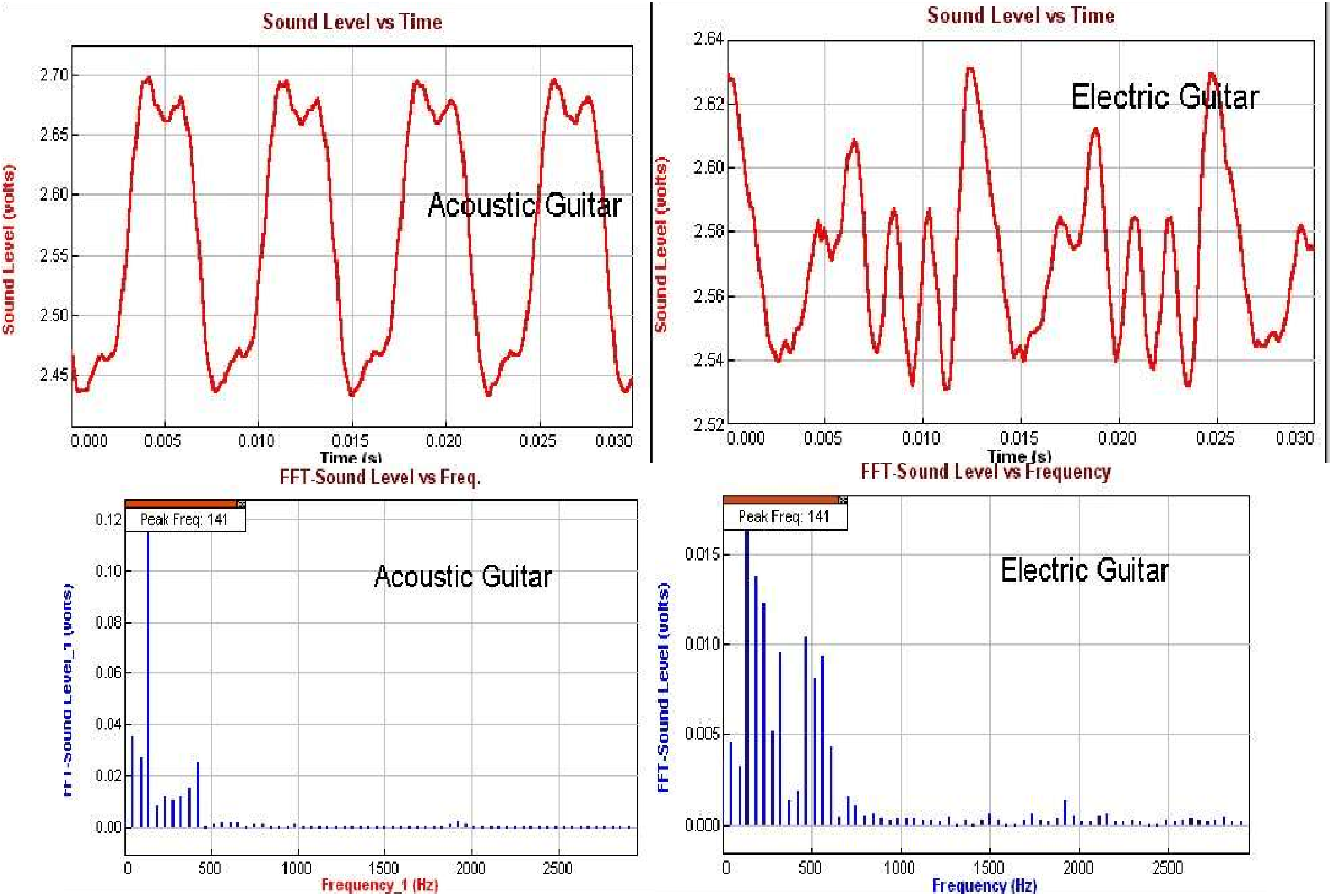


Timbre



Parte 1 no Moodle

Análise de Fourier



Análise de Fourier

- Série de Fourier: $f(x)=\sum_{n=1}^{\infty} A_n \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda_1} nx\right)$

(corda fixa em x=0 e x=L)

- Amplitudes (=componentes – representação da função *f*): A_n

- Determinação das amplitudes:

$$A_n=\frac{2}{\lambda_1}\int_0^{\lambda_1} f(x)\operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda_1} nx\right)dx$$

Parte 2 no Moodle

Fechamento da parte 2

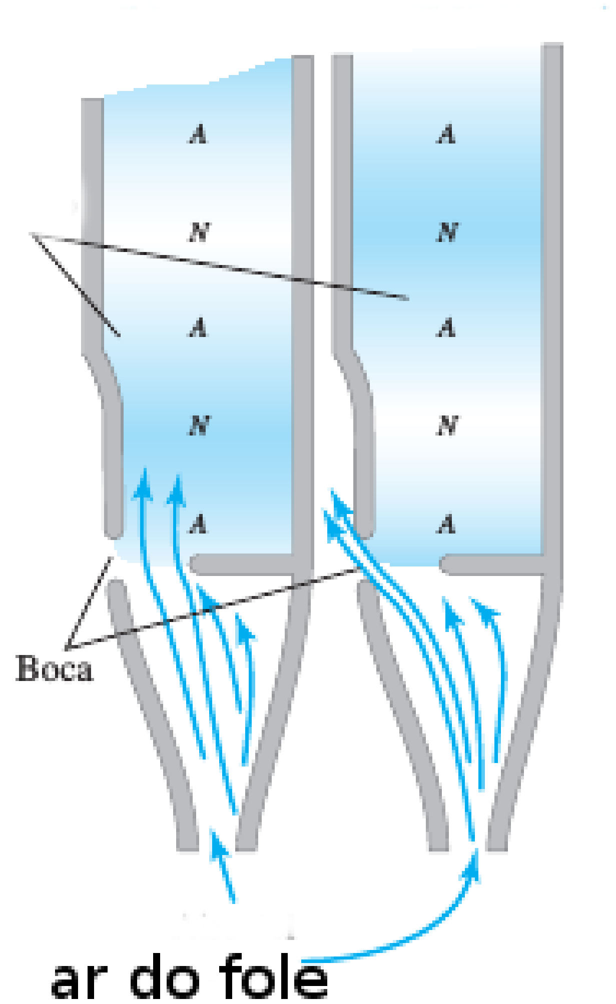
$$A_n = \frac{2}{\lambda_1} \int_0^{\lambda_1} f(x) \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{\lambda_1} nx\right) dx$$

$$f(x) = x - \frac{1}{2}, \qquad 0 < x < 1$$

$$A_n = \frac{2}{1} \int_0^{1} \left(x - \frac{1}{2}\right) \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{1} nx\right) dx$$

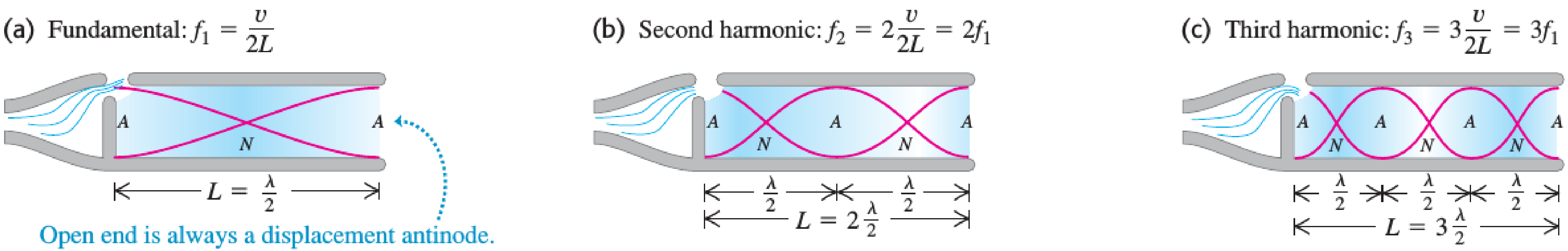
Integração por partes → : $A_n = -\dfrac{1}{n\pi}$

Instrumentos de sopro



Instrumentos de sopro

- Tubo aberto:



- Tubo fechado: